



PENGARUH KOMPRESI TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF PVDC SEBAGAI MEDIA ADSORBER UNTUK KOMPRESOR TERMİK SISTEM ADSORPSI

Suhanan

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM
Jl. Grafika no. 2 Yogyakarta 55281 Telp./ Fax : (0274) 521673
E-mail : suhanan@ugm.ac.id

ABSTRACT

An experimental study of the characteristic of PVDC activated Carbon, as an adsorbent media for sorption thermal compressor, is reported. In this study the PVDC activated carbon is characterised by varying the compression of green body, i.e 100, 500, 1000 dan 1800 bars. To produce activated carbon, the green body is heated for pyrolysis process at temperature of 800 °C. The measurement of specific surface is carried out using Nitrogen gas adsorption at 77K, while its porosity is evaluated by Helium gas expansion at room temperature. The result shows that the green body compression of 1000 bars give superior properties compared to other experimental conditions were studied. The product give properties of Surface specific of 1000 m²/ gram and macroporous structure of 13 % volume.

Kata Kunci : Adsorbent, adsorpsi, Nitrogen, kompresor termik

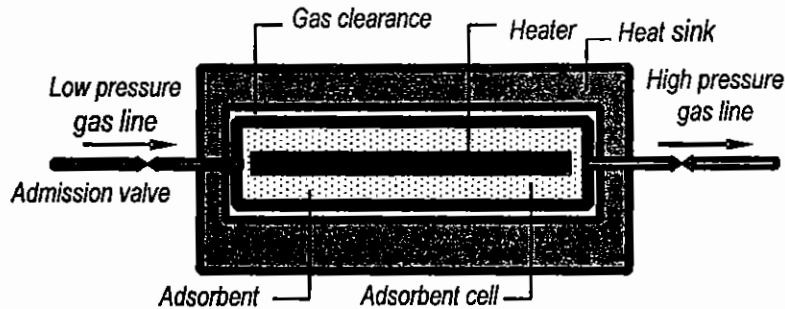
PENDAHULUAN

Kompresor temik sistem adsorpsi

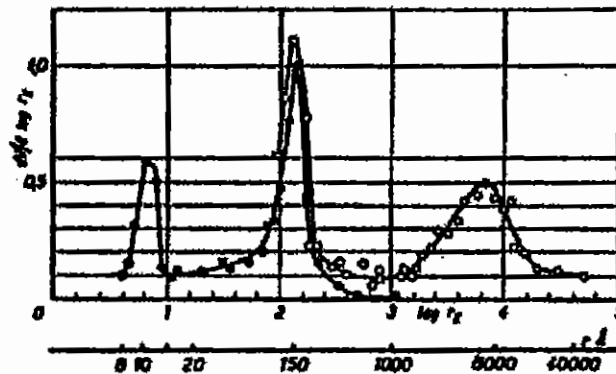
Kompresor termik sistem adsorpsi beroperasi berdasarkan kemampuan sifat mengadsorpsi gas suatu media yang disebut *adsorbent*. Bila *adsorbent* didinginkan dan dipanaskan secara simultan, *adsorbent* akan mengadsorp gas pada tekanan rendah dan kemudian melepaskan gas kembali (*desorption*) pada tekanan tinggi. Secara skematis prinsip kerja kompresor termik sistem adsorpsi ditunjukkan pada gambar 1. Kemampuan suatu *edsorbent* menyerap (*adsorption*) dan melepas (*desorption*) gas ditentukan oleh sifat *adsorbent* yang secara umum dinyatakan oleh luas permukaan spesifik, volume *microporous* dan *macroporous*, dimana sifat-sifat tersebut tergantung pada cara pembuatan dan metoda aktivasi dari material *adsorbent*.

Karbon aktif

Karbon aktif (sebagai *adsorbent*) adalah karbon yang telah mengalami perlakuan (aktivasi) untuk menaikkan kemampuan sifat adsorpsinya. Aktivasi membentuk permukaan dan porositas *adsorbent* (*texture porous*) yang merupakan karakteristik atau sifat penting dalam proses adsorpsi. Sesuai dengan kondisi pemakaian, secara industri telah banyak dihasilkan berbagai jenis karbon aktif. Texture porous dari masing-masing karbon aktif sangat berbeda dan disesuaikan dengan jenis penggunaannya. Pada Gambar 2 ditunjukkan secara tipikal distribusi volume porous (Pacault, A) yang terdiri dari *microporous*, transisi, dan *macroporous*. Berbagai macam teknik dalam upaya membuat karbon aktif telah banyak dilakukan. Teknik



Gambar 1. Skema prinsip kerja kompresor termik sistem adsorpsi



Gambar 2. Distribusi volume porous sebagai fungsi dari jari-jari

pembuatan karbon aktif yang paling banyak dikenal adalah karbonisasi dan aktivasi material (bahan) utama.

TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh besarnya kompresi, yang dilakukan pada proses pembentukan awal material, terhadap sifat/karakteristik karbon aktif yang akan digunakan sebagai media *adsorber* untuk kompresor termik sistem adsorpsi. Karakteristik dari karbon aktif yang diinginkan seperti luas permukaan spesifik, volume *microporous* dan *macroporous*, adalah beberapa sifat yang ingin dianalisis sebagai fungsi dari perubahan besarnya kompresi pada proses pembentukan awal.

METODOLOGI PENELITIAN

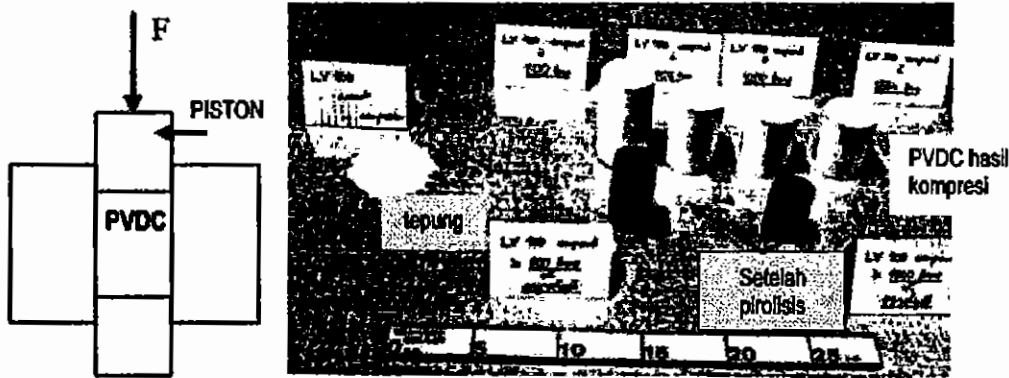
Studi ini dilakukan secara eksperimental dengan urutan-urutan proses sebagai berikut :

1. Fabrikasi karbon aktif PVDC

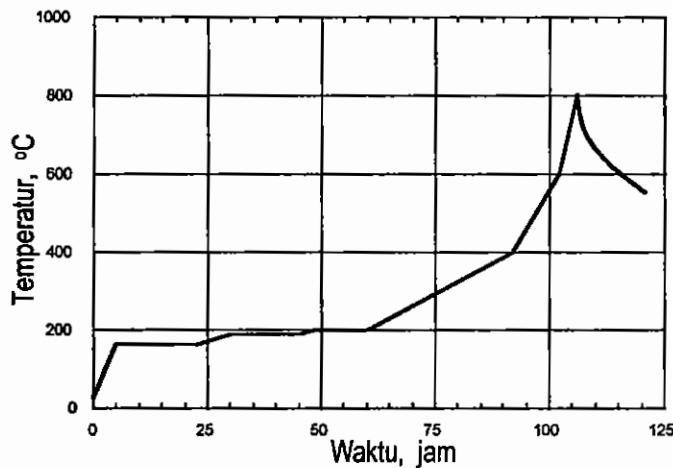
2. Aktivasi (pirolisis) karbon aktif PVDC
3. Pengukuran sifat-sifat karbon aktif yang dihasilkan seperti porositas, massa jenis dan permukaan spesifik.
4. Pengukuran adsorpsi isothermal gas Nitrogen oleh karbon aktif PVDC.

FABRIKASI KARBON AKTIF PVDC

Bahan dasar karbon aktif yang diteliti adalah Polychlorure Vinylidene. Terbentuk dari rantai *Carbone-chlore-hydrogen* ($\text{CH}_2\text{-CCL}_2$)_n diproduksi oleh Solvay dengan referensi LV-100. Bentuk dasarnya berupa tepung putih dengan diameter *granulometri* rata-rata 150 μm . (Guillaume, et. al 1990). Untuk memudahkan pengerjaan lanjut dan menyesuaikan dengan bentuk kompresor termik yang ada, bahan PVDC dicetak membentuk silindrik dengan tingkat kompresi yang berbeda. Semakin besar kompresi yang dilakukan, akan semakin meningkatkan densitasnya, ini terjadi karena dengan kompresi yang besar berarti mengurangi volume mati (*dead volume*) antar *granulairnya*.



Gambar 3. Jenis PVDC dengan kompresi 100, 500, 1000 dan 1884 bar.



Gambar 4. Profil temperatur pirolisis selama proses aktivasi

Dalam proses pembuatan PVDC digunakan sebuah mesin press kapasitas 40 ton. Untuk volume tepung PVDC yang sama (diameter matrice 37,7 mm) dilakukan kompresi yang berbeda masing-masing 100, 500, 1000 dan 1884 bar. Tipe PVDC hasil kompresi yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 3. PVDC yang telah dibentuk selanjutnya diaktifkan dengan cara dipanaskan (proses pirolisis) bertujuan untuk aktivasi. PVDC yang telah mengalami proses pengaktifan ini kemudian dinamai karbon aktif PVDC.

Metoda aktivasi PVDC yang digunakan pada studi ini adalah tipe aktivasi phase gas, dengan temperatur aktivasi (temperatur pirolisis) sampai temperatur 800 °C. Profil temperatur pirolisis selama proses aktivasi ditunjukkan pada Gambar 4.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses aktivasi yang telah dilakukan terhadap bahan dasar PVDC menghasilkan karbon aktif yang siap digunakan sebagai *adsorbent* pada kompresor termik sistem adsorpsi. Pada Gambar 3 diperlihatkan bentuk PVDC sebelum mengalami proses aktivasi dan setelah diaktifasi. Selama proses aktivasi (pirolisis) terjadi perubahan dimensi, massa, volume jenis maupun struktur permukaan dari PVDC.

Tabel 1 menunjukkan contoh tipikal perubahan dimensi, massa dan massa jenis dari PVDC dengan kompresi 1000 bar (Guillaume, et. al 1990). Struktur permukaan karbon aktif yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar 5a

Tabel 1. perubahan dimensi, massa dan massa jenis dari PVDC dengan kompresi 1000 bar.

Sample PVDC 1000 bar		1	2	3	4
Panjang, mm	Sebelum pirol.	53,60	54,80	54,50	54,70
	Setelah pirol	40,36	41,33	41,01	41,26
	Perubahan, %	24,70	24,60	24,75	24,57
Diameter, mm	Sebelum pirol.	37,66	37,37	37,68	37,67
	Setelah pirol	27,74	27,72	27,68	27,67
	Perubahan, %	26,30	26,40	26,50	26,50
Massa apparance, g	Sebelum pirol.	99,93	100,62	100,11	99,99
	Setelah pirol	25,90	26,15	26,11	25,15
	Perubahan, %	74	74	73,9	73,8
Massa jenis apparance, kg/m ³	Sebelum pirol.	1673,70	1647,50	1647,30	1640,20
	Setelah pirol	1061,80	1047,50	1058,10	1054,10
	Perubahan, %	36,60	36,40	35,70	35,70
Massa riil, g	Setelah pirol	24,47	24,72	24,68	24,72
Massa jenis, riil, kg/m ³	Setelah pirol	1003,20	990,90	1000,10	996,30

Tabel 2. Porositas, massa jenis dan kandungan Carbon dari karbon aktif PVDC

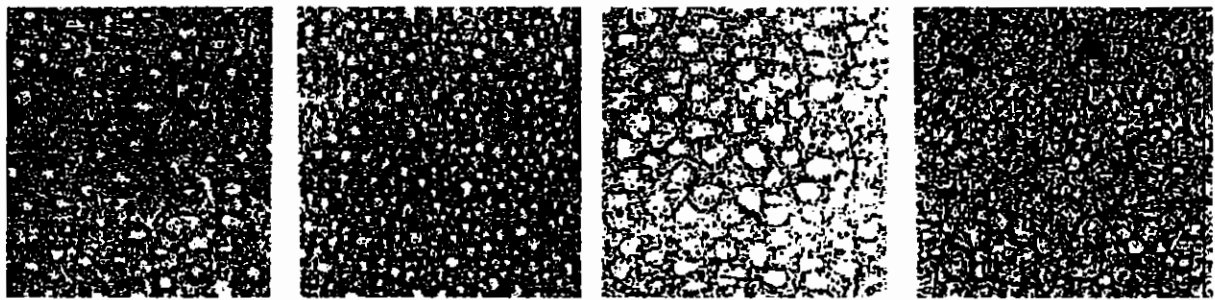
Jenis PVDC	Kandungan Carbon, cm ³ /gr.	porositas		Massa jenis, kg/cm ³
		Microporosity cm ³ /gr.	Macroporosity cm ³ /gr.	
100 bar	0,496 (34,40 %)	0,527 (36,60 %)	0,419 (29,00 %)	693
500 bar	0,497 (45,20 %)	0,527 (38,40 %)	0,180 (16,40 %)	912
1000 bar	0,469 (46,80 %)	0,400 (39,90 %)	0,133 (13,30 %)	998
1884 bar	0,469 (49,10 %)	0,380 (39,80 %)	0,106 (11,10 %)	1047

menunjukkan struktur permukaan karbon aktif PVDC dengan kompresi 100 bar, sementara gambar 5b dan 5c adalah struktur permukaan karbon aktif PVDC dengan kompresi 1000 bar.

Struktur *macroporosity* dan *intergranulair* PVDC setelah proses pirolisis mengalami penurunan yang diikuti oleh peningkatan struktur *microporosity*. Untuk mengetahui prosentasi volume *macroporosity* dan *microporosity* dalam karbon aktif yang diproduksi, dilakukan pengukuran porositas. Metoda pengukuran yang digunakan adalah metode ekspansi gas Helium pada temperatur kamar dan metode adsorpsi gas Nitrogen pada temperatur 77 K. Hasil pengukuran porositas yang dilakukan memberikan nilai-nilai prosentasi *macroporosity* dan *microporosity*, disamping juga kandungan Carbon pada karbon aktif tersebut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 (Suhanan, 1994).

Perbedaan besarnya kompresi pada proses awal pembentukan PVDC menghasilkan sifat karbon aktif yang berbeda. Kandungan volume Carbon per gram massa karbon aktif meningkat dengan besarnya kompresi yang diberikan pada waktu pembentukan. Demikian juga dengan volume *microporosity* dan massa jenisnya. Dari gambar terlihat bahwa volume *intergranulair* (*dead volume*) berbanding terbalik dengan besarnya kompresi. Proses pirolisis juga telah mengurangi volume tersebut.

Dari tampak fisik karbon aktif PVDC dengan kompresi diatas 100 bar cukup keras dan bisa dengan mudah dikerjakan dengan mesin, untuk kompresi diatas 1500 bar karbon aktif menjadi sangat keras dan mudah pecah bila dikerjakan dengan mesin.



Sebelum pirolisis

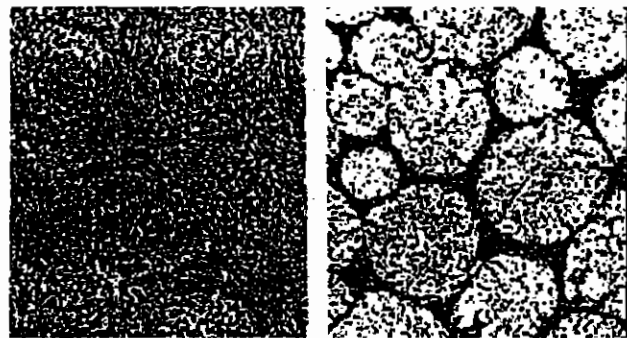
Setelah pirolisis

Sebelum pirolisis

Setelah pirolisis

a) PVDC 100 bar, perbesaran 50 kali

b) PVDC 1000 bar, perbesaran 50 kali

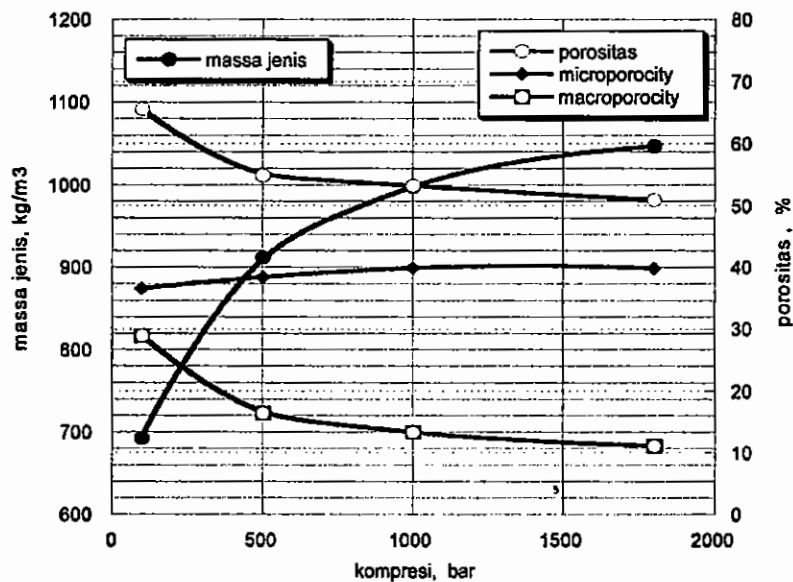


Sebelum pirolisis

Setelah pirolisis

c) PVDC 1000 bar, perbesaran 200 kali

Gambar 5. Struktur permukaan karbon aktif PVDC



Gambar 6. Porositas dan massa jenis karbon aktif PVDC

ADSORPSI ISOTERMAL GAS NITROGEN PADA 300 K

Adsorpsi isothermal adalah sebuah kurva yang menunjukkan besarnya massa fluida yang diadsorpsi oleh tiap satuan massa adsorbent sebagai fungsi tekanan pada temperatur adsorbent konstan. Untuk menggambarkan kurva adsorpsi isothermal dilakukan pengukuran adsorpsi gas Nitrogen oleh karbon aktif PVDC pada temperatur 310 K. Teknik eksperimen yang digunakan adalah metode volumetrik, yang memerlukan peralatan yang relatif sederhana.

Pada proses adsorpsi, gas yang diadsorpsi oleh tiap satuan massa adsorbent dapat dihitung berdasarkan persamaan (Duband and Ravex, 1993)

$$C_{eff} = C + \frac{\rho_g}{\rho_a} x \quad (1)$$

x menyatakan perbandingan antara *dead volume* dalam adsorbent dengan volume adsorbent. C massa gas yang diadsorpsi pada tekanan P dan temperatur T , didefinisikan sebagai (Yang, 1982):

$$C = \frac{M\alpha}{b} e^{-\gamma\epsilon} \quad (2)$$

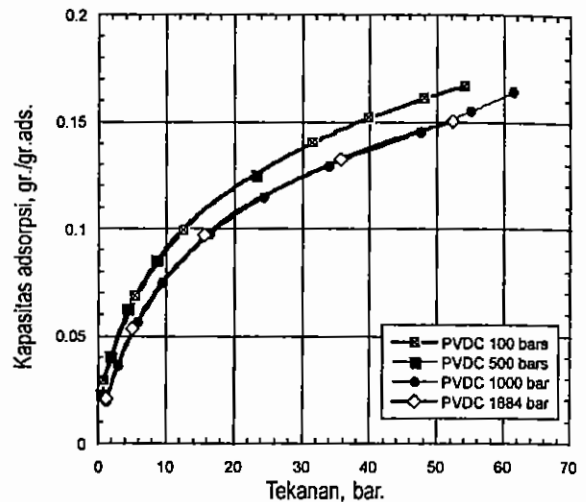
ϵ pada persamaan (2) adalah *adsorption potential* dinyatakan dalam persamaan Dubinin (Chan, 1981)

$$\epsilon = \frac{RT}{\beta} \ln \left(\frac{P_s}{P} \right) \quad (3)$$

Hasil pengukuran adsorpsi isothermal gas Nitrogen oleh karbon aktif PVDC 100, 500, 1000 dan 1884 bar pada temperature 310 K ditunjukkan pada Gambar 7.

Pada temperature adsorbent konstan, jumlah gas yang diadsorpsi oleh adsorbent naik dengan bertambahnya tekanan gas. Jenis PVDC dengan kompresi 100 bar dan kompresi 500 bar memberikan kecenderungan kurva adsorpsi isothermal yang sama, perubahan kompresi pada awal pembentukan karbon aktif tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada kemampuan adsorpsi dari karbon aktif tersebut. Pengaruh yang cukup signifikan akan terlihat pada karbon aktif dengan kompresi 1000 bar. Sementara untuk PVDC dengan

1884 bar juga memberikan kurva yang sama seperti PVDC 1000 bar.



Gambar 7. Adsorpsi isothermal gas Nitrogen pada 310 K

KESIMPULAN

Karbon aktif PVDC hasil pirolisis merupakan salah satu material adsorbent yang menjanjikan karena material tersebut memberikan keuntungan, yaitu solid dan dapat dikerjakan dengan mesin serta mempunyai struktur *macroporosity* yang kecil yaitu sekitar 11 % volume dibandingkan dengan karbon aktif konvensional yang besarnya dapat mencapai 50 % volume. Diantara keempat variasi kompresi pada awal pembentukan PVDC, Karbon aktif PVDC dengan kompresi 1000 bar merupakan karbon aktif yang dihasilkan yang paling menarik. PVDC dengan kompresi 100 bar walaupun mudah dikerjakan dengan mesin, tapi mempunyai angka *macroporosity* yang cukup tinggi, sementara itu PVDC dengan kompresi 1884 bar sangat keras dan tidak memberikan keuntungan secara signifikan dibandingkan terhadap yang lain. Hasil studi menunjukkan bahwa karbon aktif dengan kompresi 1000 bar memberikan sifat-sifat yang lebih dibandingkan dengan terhadap yang lain pada kondisi yang sama. Karbon aktif tersebut mempunyai permukaan spesifik 1000 m²/gr. Adsorbent dengan struktur *macroporosity* sekitar 13 % volume.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Laboratorium *Service des Basses Temperatures, Centre d'Etude Nucleaires, CEA Grenoble France*, serta segenap staf laboratorium atas terselenggaranya penelitian ini.

Daftar Lambang

β	parachor (J/mole)
C	kapasitas adsorpsi gas, gram gas/gram adsorbent.
C_{eff}	kapasitas efektif adsorpsi gas, gram gas/gram adsorbent.
M	massa molekul, kg/kg mole.
P	tekanan, bar.
R	konstanta gas, kJ/kg.K
T	temperatur, K.
x	rasio dead volume terhadap volume adsorbent
α	parameter korelasi adsorpsi isotermik, m ³ /kg.
γ	konstanta adsorpsi isotermik
ε	adsorption potential

Daftar index

a	adsorbent
g	gas
s	saturation

DAFTAR PUSTAKA

- Chan. C. K, 1981, Cryogenic Refrigeration Using a Low Temperature heat Source, *Cryogenic*, vol.25, p.391, July 1981.
- Chan. C. K, 1982, Optimal Design of Gas Adsorption Refrigeration for Cryogenic Cooling, *Proceeding of The 2nd Biennial Conference on Refrigeration for Cryogenic Sensors and Electronic Systems*. Greenbelt, Maryland, December 1982.
- Dubin. M.m., 1960, *The Potential Theory of Adsorption of Gases and Vapours for Adsorbents with Energetically non Uniform Surfaces*. Chemical Reviews, vol. 60, no.1 p.325. American Chemical Society, February 1960.
- Duband.L, Ravex.A, 1993, Development of a Gas Gap Heat Switch, *Note SBT/CT/93-33 CENG*, Grenoble France, September 1993.
- Guillaume. D, Ravex. A, 1990, *Projet d'etude et realisation d'un refrigerateur Joule Thomson a adsorption d'azote en vue d'application spatiale*. Note SBT/CT/90-03.
- Pacault, A..., *Les Carbones Actifs*, Collection de Chimie Physique. Le Groupe Francais d'Etude des Carbones.
- Suhanan, 1994. *Étude et réalisation d'un cryoréfrigérateur à cycle de Joule-Thomson utilisant des compresseurs thermiques par adsorption désorption fonctionnant avec le couple Azote/PVDC*, *Tesis Doktor Universitas Henry Poincaré — Nancy I*, Perancis, Oktober 1994.
- Yang.L.C., Vo.T.D., and Burris.H.H., 1982. Nitrogen adsorption isotherms for zeolite and activated charcoal, *Cryogenics*, Dec. 1982.